Kunskapsbildning inom realvetenskaperna.

En essä i forskningsteori.

Av HÅKAN TÖRNEBOHM*)

Bildandet av kunskaper inom en realvetenskap behandlas med hjälp av en informationsteoretisk formalism i vilken ett mått på graden av överensstämmelse mellan ett par av informationsbärare spelar en central roll. Två slags kunskapsbildningar behandlas, nämligen en som leder till enstaka kunskaper och en annan som leder till komplex av kunskaper, nämligen familjer av förklaringsmönster.

Med »realvetenskaper« avses här alla vetenskaper, som studerar världen.

Inom alla realvetenskaper träffar man på en verksamhet, som är den intellektuella vägen från en fråga till ett bekräftat svar på frågan, d. v. s. ny kunskap. Denna verksamhet skall här kallas kunskapsbildning av första ordningen, kb_1.

Resultaten av kb_1 är enstaka kunskaper. Vill man systematisera kunskaperna över ett verklighetsområde ägnar man sig åt kunskapsbildning av högre ordning kb_2 etc.

Denna artikel skall behandla kunskapsbildningar av första och andra ordningen inom realvetenskaperna.

Kunskapsbildning av första ordningen är vägen från en fråga till autentisk information, som utgör svar på frågan. Hur frågor uppstår skall vi här inte bekymra oss om.

Vi kan urskilja följande delprocesser.

1. *Hypotesbildning.*

2. *Evidensval.*

Anskaffning av autentisk information från förråd av tidigare kunskaper. Sökande efter data. Dessa båda slag av autentisk information skall tjäna som evidens för eller emot en hypotes.

3. *Vägning.*

Jämförelser mellan hypoteser och information som tjänar som evidens.

*) Professor i vetenskapsteori, Göteborgs universitet.

Kunskapsbildning inom realvetenskaperna.

En essä i forskningsteori.

Av HÅKAN TÖRNEBOHM*)

Bildandet av kunskaper inom en realvetenskap behandlas med hjälp av en informationsteoretisk formalism i vilken ett mått på graden av överensstämmelse mellan ett par av informationsbärare spelar en central roll. Två slags kunskapsbildningar behandlas, nämligen en som leder till enstaka kunskaper och en annan som leder till komplex av kunskaper, nämligen familjer av förklaringsmönster.

Med »realvetenskaper« avses här alla vetenskaper, som studerar världen.

Inom alla realvetenskaper träffar man på en verksamhet, som är den intellektuella vägen från en fråga till ett bekräftat svar på frågan, d. v. s. ny kunskap. Denna verksamhet skall här kallas kunskapsbildning av första ordningen, kb_1.

Resultaten av kb_1 är enstaka kunskaper. Vill man systematisera kunskaperna över ett verklighetsområde ägnar man sig åt kunskapsbildning av högre ordning kb_2 etc.

Denna artikel skall behandla kunskapsbildningar av första och andra ordningen inom realvetenskaperna.

Kunskapsbildning av första ordningen är vägen från en fråga till autentisk information, som utgör svar på frågan. Hur frågor uppstår skall vi här inte bekymra oss om.

Vi kan urskilja följande delprocesser.

1. *Hypotesbildning.*

2. *Evidensval.*

Anskaffning av autentisk information från förråd av tidigare kunskaper. Sökande efter data. Dessa båda slag av autentisk information skall tjäna som evidens för eller emot en hypotes.

3. *Vägning.*

Jämförelser mellan hypoteser och information som tjänar som evidens.

*) Professor i vetenskapsteori, Göteborgs universitet.

4. *Beslut.*

a) att övergå till ny hypotesbildning när evidensen är negativ, b) att fortsätta med processerna 2) och 3) om evidensen är positiv eller c) att godta hypotesen som trovärdig och upphöja den till kunskap.

Hypotesbildning. Denna process kan beskrivas som en informationsomvandling. Information matas in av två slag:

1. autentisk information, som består dels av ett urval från ett förråd av tidigare kunskaper, dels korrigerade data.

2. icke-autentisk information, som består av obekräftade arbetshypoteser.

Hypotesen innehåller en del av den inmatade informationen och dessutom nybildad information. Den skall i allmänhet uppfylla i förväg specificerade villkor. Ett viktigt sådant gäller det språk i vilken den bör vara formulerad.

En formalism.

För att beskriva de andra delprocesserna, som ingår i kb_1 behöver vi använda oss av en enkel formalism. Denna formalism tillåter oss också att evaluera processerna och visa upp hur den hänger ihop.

I. Låt p, q, r, ... vara informationsbärare. Satser, bitar av en text som innehåller flera satser, formler tillsammans med en text i vilken tecknen förklaras och formlerna ges referens, kurvor, diagram och tabeller med data är informationsbärare.

II. Låt $I(p)$ vara ett monadiskt mått på den information, som finns i p.

Detta mått skall uppfylla formella villkor, som automatiskt blir uppfyllda om $I(p)$ definieras på detta sätt $I(p) = -\log P(p)$, där P är ett sannolikhetsmått.

III. Låt $I(p,q)$ vara ett binärt mått på ett par av informationsbärare.

$I(p,q)$ definieras på detta sätt

$$I(p,q) = -\log P(p,q) = I(pq) - I(q)$$

$I(p,q)$ kan tolkas som ett mått på den information som p lägger till den information som finns i q.

IV. Ett mått, $M(p,q)$, på överensstämmelsen mellan två informationsbärare p och q. Detta mått definieras på följande sätt

$$M(p,q) = \frac{I(p) - I(p,q)}{I(p)}$$

Detta mått är av grundläggande betydelse i vår behandling av kb_1 och högre ordningar av kb. Vi skall först tyda $M(p,q)$ och sedan lista några för oss betydelsefulla egenskaper hos måttet.

Om $M(p,q) > 0$ så är $I(p)-I(p,q)$ ett mått på den information, som är gemensam för p och q. Detta visas lätt om man betraktar följande identitet.

$$I(p) = \underset{I}{I(p,q)} + \underset{II}{(I(p)-I(p,q))}$$

I är ett mått på den information som finns i p men inte i q. II är följaktigen ett mått på återstoden av den information som finns i p. Denna information finns både i p och q. Alltså är II ett mått på gemensam information.

Denna tydning innebär att $M(p,q)$ (om $M > 0$) är ett mått på hur stor del av den information som finns i p som är täckt av den information som finns i q.

$M(p,q) = 0$ om $I(p) = I(p,q)$ d. v. s. om $I(pq) = I(p) + I(q)$

I detta fall är p och q oberoende av varandra.

Vår tolkning av $M(p,q)$ slår slint om $M < 0$. Om $M(p,q) < 0$ gäller det att $M(p',q > 0$ där p' är en informationsbärare, som har den egenskapen att q logiskt utesluter att p och p' båda är sanna.

Att $M(p',q) > 0$ betyder att q delvis innehåller gemensam information med p'. q måste då strida mot p. $M(p,q) < 0$ betyder således att q strider mot p.

Vare sig M är > 0, $= 0$ eller < 0 kan $M(p,q)$ uppfattas som ett mått på överensstämmelse mellan p och q.

Det kan lätt visas att $M(p,q)$ har följande egenskaper.

1. Om p är en logisk följd av q så är $M(p,q) = 1(\max)$. p är helt täckt av q.
2. Om p och q är oberoende av varandra så är $M(p,q) = 0$.
3. Om p och q är logiskt oförenliga så är $M(p,q) = -\infty$.

I vår behandling av kunskapsbildningar av alla ordningar har vi stor nytta av följande formel, som lätt bevisas genom att använda definitionerna.

$$(f) \quad M(p,qr) = M(p,q) + \frac{I(r)}{I(p)}(1-M(r,q)) - \frac{I(r,pq)}{I(p)}$$

Vi är nu beredda att återgå till vår behandling av kunskapsbildning av första ordningen.

Evidensval.

En ny hypotes h är delvis täckt av autentisk information genom det sätt på vilket h bildats. Men om det otäckta området är otäkt stort kan h inte själv accepteras som kunskap.

Vad som sker är att h konfronteras med autentisk information av två typer, tidigare kunskaper och data. Hur bör en forskare välja evidens när en hypotes föreligger?

Han bör välja evidens på sådant sätt att h blir i så hög grad som möjligt täckt av autentisk information. Formeln (f) ger oss ledning.

Sätt in h för p, k för q och d för r i formeln (f). h är den hypotes som skall prövas, k är ett urval ur ett förråd av tidigare kunskaper, d är information av data typ. d är i motsats till k inte autentisk information men tänkt information av data typ, som senare skall jämföras med autentiska data.

Genom insättningarna får vi

$$M(h,kd) = \underset{I}{M(h,k)} + \underset{II}{\frac{I(d)}{I(h)}(1-M(d,k))} - \underset{III}{\frac{I(d,hk)}{I(h)}}$$

$M(h,kd)$ bör vara stor.

Det är gynnsamt om urvalet k av äldre kunskaper i hög grad täcker den hypotes h som är under prövning. $M(h,k)$ är då stor.

Då $I(d,hk) \geqslant 0$ är det gynnsamt om $I(d,hk) = 0$; d. v. s. informationer av data typ bör härledes från h och k tillsammans. Då försvinner *III*, som aldrig kan vara positiv.

Vidare bör d innehålla mycket information. $I(d)$ är stor, $M(d,k)$ bör vara liten. Då d inte bör strida mot k (vilket skulle betyda att det finns anledning att antingen ifrågasätta om k bör behålla sin kunskapsstatus eller att d som är »virtuella« data skulle överensstämma med autentisk data) innebär detta villkor, at d och k bör vara i hög grad oberoende av varandra.

Vi ha nu angivit desiderata för val av evidens. Nästa steg är att anskaffa autentiska data genom att utföra systematiska observtioner parade med mätningar underkastade kontroll. Detta gäller »hårddata« discipliner. I en »mjukdata disciplin« som historia används dokument som data och källkritik som datakontroll.

Vägning.

Låt d' vara autentiska data jämförbara med virtuella data d.

I publicerade tabeller med en kolumn för beräknade numeriska värden och en kolumn för observerade värden förekommer det praktiskt taget alltid avvikelser. Om dessa faller inom mätgränserna anses värdena överensstämma med varandra, annars inte.

Det är naturligt att uttrycka att en överensstämmelse föreligger mellan d och d' genom villkoret $M(d',hk) = M(d,hk)$ som utsäger att h och k täcker virtuella och autentiska data lika mycket.

Detta villkor för överensstämmelse är likvärdigt med villkoret $I(d',hk) = I(d,hk) = 0$.

Utbyts d mot d' i formeln (f) får vi som uttryck för hypotesens evidenstäckning

$$M(h,kd') = M(h,k) + \frac{I(d')}{I(h)}(1-M(d',k))$$

Båda termerna på högra sidan är positiva. Data har därför bidragit till att täcka hypotesen.

Bristande överensstämmelse mellan virtuella data d och autentiska data d' kan uttryckas på följande sätt. Givet h och k kan d och d' inte båda vara sanna.

Detta betyder att

$P(d \vee d',hk) = P(d,hk) + P(d'hk)$

Då $I(d,hk) = -\log P(d,hk) = 0$ är $P(d,hk) = 1$. Alltså är $P(d',hk) = 0$, varför $I(d'hk) = \infty$. Då de båda första termerna i högra ledet i formeln (f) är positiva och $\leqslant 1$, följer det att $M(h,d'k) = -\infty$. d' utgör starkast möjliga negativa evidens.

Beslut om åtgärder efter vägningen.

1. *Evidensen är negativ.*

Alternativ a. h förkastas helt och hållet och sökandet efter ett svar på utgångsfrågan startar från början.

Alternativ b. Villkor påläggs hypotesbildningen. h skall utbytas mot en hypotes h' som uppfyller dessa villkor.

Sådan evidens som stöder föregångaren skall också vara stöd för efterföljaren. De data som bragte föregångaren på fall skall täckas helt av h'.

Alternativ b är att föredra framför alternativ a. Alternativ b kan karakteriseras som en felkorrigering.

Sker hypotesutbyten enligt detta alternativ bör efterföljaren innehålla ett större mått av sann infomation än föregångaren. Vi återkommer till denna punkt senare.

2. *Evidensen är positiv.*

Alternativ a. Hypotesen befordras till kunskap.

Alternativ b. Processerna att söka evidens och väga hypotesen mot evidens fortsätter med ny autentisk information. Antingen ökas täckningsgraden eller också möter h negativ evidens.

Vilket alternativ som väljs i en föreliggande forskningssituation beror på en forskares riskvillighet.

Accepteras en hypotes för tidigt som kunskap är det stor risk att den kommer att bli inveckIad i konflikter med andra kunskaper, såväl äldre som nyare, varvid någon av dessa kunskaper måste berövas sin status. Accepteras en hypotes för sent har det kostat mer än det smakar att processa den fram till kunskapsstatus. Valet beror också på en önskan att få hypotesen accepterad av andra experter, som har tagit del av vad forskaren gjort med hypotesen. Endast om andra accepterar en hypotes blir den gemensam kunskap.

Dessa psykologiska och sociologiska aspekter är inte oväsentliga. De bör nämnas, men de har ingen relevans för frågan vad som är rationellt att göra, en fråga som alltid är betydelsefull i forskningsteoretiska studier.

Vi frågar sålunda. Vad är det för mening med att försöka täcka en hypotes med autentisk information? Finns det något samband mellan hög täckningsgrad och en hypotes' »rätt« att befordras till kunskap?

Det är lämpligt att införa ett graderat sanningsbegrepp i studier över kunskapernas växt till skillnad från det ograderade sanningsbegreppet i den tvåvärdiga logiken.

Vi skall definiera grad av sanning hos en informationsbärare p på följande sätt.

Def. 1. Sanningskärnan p_t i p är en informationsbärare, som innehåller all sann information i p och därutöver ingen annan information.

Def. 2. Graden av sanning hos p, $S(p)$ är graden av överensstämmelse mellan p och dess sanningskärna:

$$S(p) = M(p,p_t)$$

Anm. Då p_t är helt täckt av p är $M(p,p_t) = \dfrac{I(p_t)}{I(p)}$

Således är $S(p) = \dfrac{I(p_t)}{I(p)}$

Ger hög täckning av en hypotes en garanti för att $S(h)$ är nära 100 %? Leder hypotesbyten enligt ovan beskrivna strategi till att $S(h') > S(h)$?

Dessa frågor är väsentliga för bedömning av det rationella i ett förfaringssätt som leder till att svar på frågor får status av kunskap.

Kunskapsbildning av andra ordningen.

Ett löst konglomerat av kunskaper har inte samma värde som systematiserad kunskap. kb_2 och kunskapsbildning av ännu högre ordning ger upphov till kunskapssystem.

Utgångsläget för kb_2 är uppgiften att söka täcka en kunskap till 100 % med informationsbärare, som har kunskapsstatus. Ett täckningsmönster med dessa egenskaper är ett demonstrativt förklaringsmönster. Vad som förklaras är det sakförhållande som den täckta informationsbäraren beskriver.

En ny kunskap kan som regel inte täckas med material från förråd av tidigare kunskaper. Skulle detta lyckas är den »nya« kunskapen inte alls ny, då den inte lägger till någonting till redan accepterade kunskaper.

Ny kunskap k_n måste på grund av det sätt som den bildats redan till en viss grad vara täckt av autentisk information k. Men $M(k_n,k) < 1$.

Täckningsgrade kanske kan ökas genom tillskott av täckningsmaterial från ett kunskapsförråd, men vi skall förutsätta här att maximum 100 % täckning inte kan nås på detta sätt.

Följande processer tar vid:

1. Bildande av en kompletterande hypotes h^* (en stjärnhypotes skall vi kalla den), som uppfyller villkoret $M(k_n,kh^*) = 1$.

2. h^* är så rik på information att den inte kan täckas med redan föreliggande autentisk information eller med data. kb_1 kan inte tillämpas på h^*.

En process som leder til att h^* eller eventuellt en efterföljare till h^* får kunskapsstatus sätter in. Denna process beskrivs lämpligen med hjälp av formeln (f).

Sätt in h^* för p, ett urval k från ett förråd av tidigare kunskaper för q och h_i för r. h_i är en hypotes som skall spela samma roll som virtuella data d i kb_1. Man får då

$$M(h^*,kh_i) = \underbrace{M(h^*,k)}_{I} + \frac{I(h_i)}{I(h^*)}\underbrace{(1-M(h_i,k))}_{II}\underbrace{\frac{I(h_i,h^*k)}{I(h^*)}}_{III}.$$

Vad som här är mest intressant är termen III. För att $M(h^{*\prime}kh_i)$ skall vara stor bör III vara 0. Detta betyder att $I(h_i,h^*k)$ bör vara 0, vilket innebär att $M(h_i,h^*k)$ bör vara 1. Med andra ord hypotesen h_i bör vara helt täckt av h^* och k. h_i härleds från h^* och ett urval k av kunskaper från tidigare kunskaper.

Vi kan tala om deduktiv hypotesbildning här. En stjärnhypotes och ett urval k av tidigare kunskaper matas in. En del av den inmatade informationen plockas ut. Genom at variera på k kan man få en sekvens av dotterhypoteser $h_1, h_2, \ldots, h_m$. Bildandet av dessa styrs av frågor i likhet med annan hypotesbildning. Detta visas genom fallstudier över kb_2.

Nästa process.

h_i $(i = 1, 2, \ldots, m)$ är inte alltför informationsrika för att omöjliggöra kunskapsbildning av första ordning. Sådana kunskapsbildningar tar vid. Om en av dotterhypoteserna möter negativ evidens verkar denna tillbaka på h^* eller k. Då k ju redan har kunskapsstatus, är det h^* som råkar mest illa ut. h^* får då utbytas. Men detta utbyte bör företas först sedan kunskapsbildningarna av första ordningen avslutas. Det blir då möjligt att lägga på starka villkor på efterföljaren till h^*. Efterföljaren bör tillsammans med urval k av äldre kunskaper täcka alla de kunskaper som bildas av sekvensen $h_1, h_2, \ldots, h_m$ och bör dessutom uppfylla det villkor, som från början pålades h^*.

Låt $k_1, k_2, \ldots, k_m$ vara de kunskaper som bildas från $h_1, h_2, \ldots, h_m$ med eller utan felkorrigeringar. Dessa kunskaper har alstrats genom stjänhypoteser. Härtill kommer att alla dessa kunskaper är till 100 % täckta av äldre kunskaper och dessutom av en stjärnhypotes. Dessa täckningsmönster kan kallas virtuella förklaringsmönster, så länge som h^* ännu inte förvärvat kunskapsstatus.

Ju större mängden av virtuella förklaringsmönster blir i vilken samma stjärnhypotes ingår desto större del av stjänhypotesens information blir täckt av autentisk information. Blir mängden tillräckligt stor kommer h^* att förvandlas till kunskap k^*, och alla täckningsmönstren förvandlas retroaktivt till äkta förklaringsmönster inklusive det ursprungliga. Förklaringsupgiften har lösts. Men vad har man inte vunnit på vägen! Man har erhållit en mängd nya kunskaper som ingår i förklaringsmönster sammankopplade med varandra genom att de alla är delvis täckta av en mycket rik informationsbärare, som ger djup kunskap över ett verklighetsområde.

Newtons gravitationshypotes och Plancks kvanthypotes är exempel på stjärnhypoteser.

Kunskapsbildningar av högre ordning resulterar i symboliska system, sådana som Newtons mekanik, relativitetsteorin etc.

För att diskutera dessa högre typer av kunskapsbildning är det lämpligt att utföra ingående fallstudier (case studies) över historiska exempel.

Sådana studier är alltför platskrävande för att rymmas i denna essä.